

02.7.2004

日本特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

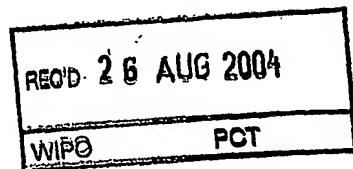
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2003年 7月 7日

出願番号  
Application Number: 特願2003-193051  
[ST. 10/C]: [JP2003-193051]

出願人  
Applicant(s): 独立行政法人海上技術安全研究所  
高橋 一比古

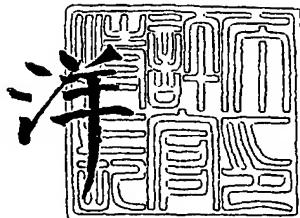


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 8月12日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

八月



【書類名】 特許願

【整理番号】 KP3294

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B01J 8/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都三鷹市新川 6-38-1 海上技術安全研究所内

【氏名】 高橋 一比古

【発明者】

【住所又は居所】 東京都三鷹市新川 6-38-1 海上技術安全研究所内

【氏名】 高橋 千織

【特許出願人】

【識別番号】 501204525

【氏名又は名称】 独立行政法人 海上技術安全研究所

【特許出願人】

【住所又は居所】 東京都三鷹市新川 6-38-1 海上技術安全研究所内

【氏名又は名称】 高橋 一比古

【代理人】

【識別番号】 100100413

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡部 温

【選任した代理人】

【識別番号】 100110777

【弁理士】

【氏名又は名称】 宇都宮 正明

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033189

【納付金額】 8,400円

【その他】 国と国等以外の持分の割合 40/100

## 【提出物件の目録】

【物件名】	明細書 1
【物件名】	図面 1
【物件名】	要約書 1
【ブルーフの要否】	要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 疲労亀裂の進展抑制方法及び検出方法、並びに、それらに用いるペースト

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 母材の疲労亀裂の進展を抑制する方法であって、母材の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混合されたペーストを準備するステップ (a) と、前記母材の所望の個所に前記ペーストを塗布するステップ (b) と、を具備する疲労亀裂の進展抑制方法。

【請求項 2】 前記粒子の粒径が  $2 \mu\text{m} \sim 40 \mu\text{m}$  である、請求項 1 記載の疲労亀裂の進展抑制方法。

【請求項 3】 ステップ (a) が、複数種類の油を混合することにより、粘性が  $5000 \sim 15000 \text{ cP}$  (センチポワズ) の油を生成するステップ (a1) と、ステップ (a1) において生成された油に前記粒子を混合するステップ (a2) と、を含む、請求項 1 又は 2 記載の疲労亀裂の進展抑制方法。

【請求項 4】 母材の疲労亀裂を検出する方法であって、母材の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混合されたペーストを準備するステップ (a) と、

前記母材の所望の個所に前記ペーストを塗布するステップ (b) と、前記母材において疲労亀裂が開閉することによって前記粒子によって母材が研削されて生じた母材粉が、前記ペーストの表面に移動して生じた色彩の変化に基づいて、疲労亀裂を検出するステップ (c) と、を具備する疲労亀裂の検出方法。

【請求項 5】 前記粒子が、白色のセラミックである、請求項 4 記載の疲労亀裂の検出方法。

【請求項 6】 ステップ (a) が、複数種類の油を混合することにより、粘性が  $5000 \sim 15000 \text{ cP}$  (セン

チポワズ) の油を生成するステップ (a 1) と、

ステップ (a 1) において生成された油に前記粒子を混合するステップ (a 2) と、

を含む、請求項 4 又は 5 記載の疲労亀裂の検出方法。

【請求項 7】 母材の疲労亀裂の進展を抑制し、又は、母材の疲労亀裂を検出するために、前記母材の所望の個所に塗布されるペーストであって、

粒径が  $2 \mu\text{m} \sim 40 \mu\text{m}$  の粒子と、

粘性が  $5000 \sim 15000 \text{ cP}$  (センチポワズ) の油と、  
を混合して得られたペースト。

【請求項 8】 前記粒子が、白色のセラミックである、請求項 7 記載のペースト。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

###### 【発明の属する技術分野】

本発明は、金属等の表面に発生する疲労亀裂の進展を抑制する方法、及び、疲労亀裂を検出する方法に関する。さらに、本発明は、それらの方法に用いられるペーストに関する。

##### 【0002】

###### 【従来の技術】

従来より、静的な破壊応力よりはるかに小さな応力であっても、その応力を金属に繰返し加えることによって微小亀裂(疲労亀裂)が発生する金属の疲労現象が知られている。この疲労亀裂が発生した部分に、さらに、応力を繰返し加えることによって、疲労亀裂は拡大し、ひいては金属の切断に繋がる。一方、現在の社会において、金属はいたるところに使われている。そのため、疲労亀裂の進展の抑制、及び、疲労亀裂の早期検出は、大変重要な課題となっている。

##### 【0003】

図 8 は、疲労亀裂の発生及び進展を説明するための図である。図 8 の (A) に示すように、外部応力による転位の伝搬によって、金属表面に微小亀裂が発生する。また、図 8 の (B) に示すように、引張り荷重が加えられることにより亀裂

が開口し、図8の（C）に示すように、引張り荷重の除去により亀裂が閉口する。さらに、図8の（D）に示すように、再び引張り荷重が加えられることにより亀裂が開口する。このように、亀裂の開閉を繰り返すことにより亀裂が進展する。ここで、図8の（A）及び（C）に示すように、引張り荷重が加えられていないう場合には、亀裂が閉口しているため、目視による亀裂の検出が困難であるという問題がある。

#### 【0004】

関連する技術として、下記の特許文献1には、外観は黒色不透明で表面は粗面で様々な形状をした立体物を対象に、部位も方向もランダムに発生するクラックを、量産ラインで使用可能な、高速、高感度、非破壊で検出する亀裂検出方法について述べられている。

#### 【0005】

この亀裂検出方法によれば、亀裂にアセトンやベンゼン等の揮発性溶媒を浸透させ、表面を乾燥させた試料を密封容器の中に静置して、試料の表面を沿って流れるヘリウムや窒素等のキャリアガスに、気化することにより混入した揮発性溶媒の濃度を検出することにより、亀裂が存在することを簡単に検出することができる。

#### 【0006】

しかしながら、この亀裂検出方法においては、亀裂が存在することを検出した場合でも、試料の亀裂が存在する場所までは検出することができない。また、密封容器が必要であるので、船や飛行機等の大型な試料については検出が困難である。したがって、試料の亀裂が存在する場所を検出するためには、従来と同様に、超音波探傷法、渦電流探傷法、磁気探傷法、染色探傷法等の技術を用いる必要がある。

#### 【0007】

また、下記の特許文献2には、染色探傷法のように経験者を必要とせず、未経験者でも傷の有無を容易に判別できる上、染色探傷法のように、染色浸透剤、現像剤の塗布、拭取りを必要とせず、液体の塗布、検査後は液体の自然蒸発を待てばよい亀裂検出方法について述べられている。

**【0008】**

この亀裂検出方法によれば、亀裂に水やエチルアルコール等の液体を浸透させ、表面を乾燥させた物体の表面を、温度センサやアルコールセンサを用いて走査し、亀裂内部に残っている液体の蒸気の濃度を検出することにより、亀裂の存在を検出することができる。

**【0009】**

しかしながら、センサが感知するのは、センサに極めて近い範囲の蒸気であるので、この亀裂検出方法においては、物体表面に沿って物体全体を走査する必要があり、船や飛行機等の大型な物体に対しては、多くの走査時間がかかる。

**【0010】****【特許文献1】**

特開平8-29410号公報 (第1~3頁、図1)

**【特許文献2】**

特開昭56-12552号公報 (第1~2頁、第1図)

**【0011】****【発明が解決しようとする課題】**

そこで、上記の点に鑑み、本発明は、比較的初期の段階においても目視により容易に疲労亀裂を検出することが可能な疲労亀裂の検出方法を提供することを目的とする。さらに、本発明は、疲労亀裂の進展を抑制することができる疲労亀裂の進展抑制方法、及び、それらの方法に用いられるペーストを提供することを目的とする。

**【0012】****【課題を解決するための手段】**

以上の課題を解決するため、本発明に係る疲労亀裂の進展抑制方法は、母材の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混合されたペーストを準備するステップ(a)と、母材の所望の個所にペーストを塗布するステップ(b)とを具備する。

**【0013】**

また、本発明に係る疲労亀裂の検出方法は、母材の硬度以上の硬度を有する粒

子と粘性を有する油とが混合されたペーストを準備するステップ（a）と、母材の所望の個所にペーストを塗布するステップ（b）と、母材において疲労亀裂が開閉することによって粒子によって母材が研削されて生じた母材粉が、ペーストの表面に移動して生じた色彩の変化に基づいて、疲労亀裂を検出するステップ（c）とを具備する。

#### 【0014】

さらに、本発明に係るペーストは、母材の疲労亀裂の進展を抑制し、又は、母材の疲労亀裂を検出するために、母材の所望の個所に塗布されるペーストであつて、粒径が $2\text{ }\mu\text{m}\sim 40\text{ }\mu\text{m}$ の粒子と、粘性が $5000\sim 15000\text{ cP}$ （センチポワズ）の油とを混合して得られる。

#### 【0015】

本発明によれば、比較的初期の段階においても目視により容易に疲労亀裂を検出することが可能な疲労亀裂の検出方法を提供することができる。さらに、疲労亀裂の進展を抑制することができる疲労亀裂の進展抑制方法、及び、それらの方法に用いられるペーストを提供することができる。

#### 【0016】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態について説明する。

まず、本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の進展抑制方法について説明する。

図1は、本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の進展抑制方法を説明するための図である。

#### 【0017】

まず、金属又はセラミック等の微細粒を、適度の粘性を有する油に混合して、ペースト状の微細粒ペーストを作成しておく。図1の（A）に示すように、金属や強化プラスチック等の母材1において、疲労亀裂の発生及び拡大が予め予想される個所の表面に、この微細粒ペースト2を塗布する。

#### 【0018】

ここで、微細粒としては、母材の硬度と同等、又は、それよりも大きい硬度を有する材料を使用することが望ましい。例えば、母材が200程度のビッカース

硬度を有する金属である場合には、微細粒として、ビックアース硬度が200以上の材料を使用する。微細粒の粒径は、ふるいを用いて、 $2\text{ }\mu\text{m} \sim 40\text{ }\mu\text{m}$ （平均 $15\text{ }\mu\text{m}$ ）程度に揃えることが望ましい。

#### 【0019】

また、微細粒を混合する油としては、例えば、シリコングリースを食用サラダ油で希釈する等により、 $5000 \sim 15000\text{ cP}$ （センチポワズ）程度の粘性を有する油を使用する。なお、 $1000\text{ cP} = 10\text{ P} = 1\text{ Pa} \cdot \text{s}$ （パスカル秒）である。

#### 【0020】

図1の（A）に示すように、外部応力による転位の伝搬によって、金属表面に微小亀裂が発生する。さらに、図1の（B）に示すように、引張り荷重が加えられることにより亀裂が開口し、亀裂が進展する。微細粒ペースト2は、亀裂の開閉に伴うポンプ作用や亀裂先端の毛細管現象によって、開口した亀裂の内部に入り込む。

#### 【0021】

ここで、図1の（C）に示すように、引張り荷重を除去した場合においても、微細粒ペースト2は亀裂の内部にくさびとして残留し、亀裂の閉口を妨げる。したがって、図1の（D）に示すように、再び引張り荷重が加えられた場合においても、亀裂面の変位が抑制されるために、亀裂の開閉による亀裂の進展速度を低下させて疲労寿命を延ばすことができる。

#### 【0022】

次に、微細粒ペーストによる亀裂進展抑制効果について、疲労試験の結果に基づいて説明する。図2は、この疲労試験において、微細粒ペーストを塗布する母材として用いる試験片の形状を示す図である。母材としては、板厚5mmのアルミニウムマグネシウム合金A5083P-O材（日本軽金属製）の試験片を使用した。図2に示すように、試験片の中央部に、直径2mmの穴を形成し、その穴を通過するように、長さ10mmで幅0.3mmの人口切欠きを放電加工により形成した。

#### 【0023】

疲労試験は、動的容量98kNの電気-油圧サーボ式疲労試験機を用いて、荷重比R=0の完全片振り荷重制御で行った。荷重波形は正弦波とし、制御信号の発生及び荷重データのサンプリングには32ビットCPUのパーソナルコンピュータを用い、サンプリング周波数は200Hzとした。

#### 【0024】

微細粒としては、磁粉探傷用の鉄の磁粉（乾式灰色、太陽物産製）、及び、粒度分布の異なる2種類のアルミナ粒子（パウレックス製）を用いた。これらの微細粒を油に混合し、液垂れしない程度のペースト状にして、試験片の切欠き部及び予想される亀裂進展経路に塗布した。

#### 【0025】

図3は、疲労試験の結果において、切欠きの無い部分における公称応力レンジ $\Delta \sigma_n$ と破断寿命 $N_f$ との関係を示す図である。ここで、●印は、何も塗布しない場合の試験結果であり、○印は、油のみを塗布した場合の試験結果である。○印は、磁粉探傷用の磁粉（Fe）を用いた磁粉ペーストを塗布した場合の試験結果である。

#### 【0026】

また、△印は、平均粒径47.3μmのアルミナ粒子（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）を用いたアルミナペーストを塗布した場合の試験結果であり、▽印は、平均粒径15.2μmのアルミナ粒子（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）を用いたアルミナペーストを塗布した場合の試験結果である。

#### 【0027】

図3に示すように、油のみを塗布した場合の破断寿命は、何も塗布しない場合の破断寿命と同程度である。それに対し、磁粉ペーストを塗布した場合の破断寿命は、何も塗布しない場合の破断寿命に比べて、18万～25万回程度延びている。したがって、油自体によるくさび効果は無視できる程度であり、磁粉によるくさび効果により破断寿命が延びると考えられる。

#### 【0028】

また、平均粒径47.3μmのアルミナ粒子を用いたアルミナペーストを塗布した場合の破断寿命は、何も塗布しない場合の破断寿命と同程度である。その理

由は、粒径が大きいと、油との懸濁性が悪く、亀裂の先端部分にアルミナ粒子が供給されないことによるものと考えられる。

#### 【0029】

それに対し、平均粒径1.5. 2  $\mu$ mのアルミナ粒子を用いたアルミナペーストを塗布した場合の破断寿命は、何も塗布しない場合の破断寿命に比べて、40万～70万回程度延びている。この場合に、今回試験した中では最も顕著な亀裂進展抑制効果が得られた。

#### 【0030】

次に、本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の検出方法について説明する。図4は、本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の検出方法を説明するための図である。本実施形態に係る疲労亀裂の検出方法は、上記において説明した疲労亀裂の進展抑制方法と重複して実施することが可能である。

#### 【0031】

本実施形態に係る疲労亀裂の検出方法においては、アルミナやジルコニア等のセラミックのような淡色の微細粒を油に混合することにより、淡色のペースト状の微細粒ペーストを作成する。微細粒に関するその他の条件や、油に関する条件は、上記において説明した疲労亀裂の進展抑制方法におけるのと同様である。本実施形態においては、母材として鉄鋼を用い、微細粒として白色のセラミックを用いる。この場合には、微細粒の硬度は、母材の硬度よりも大きくなる。

#### 【0032】

図1を参照しながら説明したように、亀裂の内部に残留した微細粒ペースト2がくさびを形成するために、亀裂の開閉による亀裂の進展を抑制することができる。この亀裂の開閉においては、図4の(A)に示すように、引張り荷重を除去すると、亀裂面が閉じようとするため、微細粒のくさびと亀裂面との間に大きな反発力が発生する。したがって、母材よりも相対的に大きい硬度を有する微細粒は、亀裂面を強く圧迫すると共に、亀裂面の一部を研削して亀裂面の母材を粉状化する。また、微細粒も、亀裂面の反発力により碎けて、更に細粒化する。

#### 【0033】

さらに、図4の(B)に示すように、母材粉は、亀裂の開閉に伴うポンプ作用

により、微細粒ペースト2の油及び細粒化した微細粒と混然となって、微細粒ペースト2の表面に滲み出る。一般に、金属の粉末は黒色を呈するため、母材粉が混然となった微細粒ペースト3は、黒色を呈する。ここで、母材粉が混然となっていない微細粒ペースト2は白色であるため、白色と黒色のコントラストにより色彩の変化が生じ、亀裂の位置及び長さ等が容易に視認できる。

#### 【0034】

次に、本実施形態に係る疲労亀裂の検出方法の試験結果について説明する。図5は、図2に示す形状を有する高張力鋼SM490Aにおける疲労亀裂の検出状態及び進展状況を示す図である。ここで、図5の(A)は、57万6千回の延伸を繰り返した後の状態を示す図であり、図5の(B)は、67万2千回の延伸を繰り返した後の状態を示す図である。なお、図中の上下方向が延伸方向である。

#### 【0035】

図5の(A)に示すように、白色の微細粒ペースト上において、亀裂部分を示す黒色が発色するので、亀裂の位置及び長さ等が容易に視認できる。また、図5の(A)における黒色部に比べて、図5の(B)における黒色部が伸びているように、亀裂の進展状況を容易に視認できる。

#### 【0036】

図6は、疲労亀裂の検出方法の別の試験に母材として用いる試験片の形状を示す図である。ここで、図6の(A)は、試験片の平面図であり、図6の(B)は、試験片の側面図である。図6に示すように、この試験片は、平板試験片に溶接で取り付けられた溶接継手を有しており、材質はTMC P(熱加工制御プロセス)鋼K32Aである。

#### 【0037】

図7は、図6に示す試験片の溶接継手における亀裂の検出状態を示す図である。ここで、図7の(A)は、微細粒ペーストを塗布する前の状態を示す図であり、図7の(B)は、図中の上下方向に120万回の延伸を繰り返した後の状態を示す図である。

#### 【0038】

図7の(A)に示すような溶接継手部分は、疲労亀裂が発生することが容易に

想像できる。そこで、疲労亀裂の発生が予想される溶接継手部分に、予め微細粒ペーストを塗布しておく。すると、図7の（B）に示すように、120万回の延伸を繰り返した後において、白色の微細粒ペースト上において黒色が発色するので、亀裂が発生したことを容易に視認できる。

#### 【0039】

本実施形態によれば、比較的初期の段階の疲労亀裂においても、目視検査で容易に確認することができ、各種機械や構造物等の安全性の向上に寄与することができる。また、微細粒ペーストがくさびを形成することにより、亀裂の進展が自動的に抑制され、各種機械や構造物等の疲労寿命が延びる。さらに、疲労亀裂の検出及び進展の抑制において、予め、疲労亀裂が発生すると予想される位置に微細粒ペーストを塗布しておくだけで良く、超音波探傷、浸透探傷、又は、磁粉探傷等の非破壊検査手法と比べて実施が遙かに容易且つ安価である。

#### 【0040】

##### 【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、比較的初期の段階においても目視により容易に疲労亀裂を検出することが可能な疲労亀裂の検出方法を提供することができる。さらに、疲労亀裂の進展を抑制することができる疲労亀裂の進展抑制方法、及び、それらの方法に用いられるペーストを提供することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の進展抑制方法を説明するための図である。

。

##### 【図2】

疲労試験において微細粒ペーストを塗布する母材として用いる試験片の形状を示す図である。

##### 【図3】

疲労試験の結果において、公称応力レンジ $\Delta \sigma_n$ と破断寿命 $N_f$ との関係を示す図である。

##### 【図4】

本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の検出方法を説明するための図である。

【図 5】

図 2 に示す形状を有する高張力鋼における疲労亀裂の検出状態及び進展状況を示す図である。

【図 6】

疲労亀裂の検出方法の別の試験に母材として用いる試験片の形状を示す図である。

【図 7】

図 6 に示す試験片の溶接継手における亀裂の検出状態を示す図である。

【図 8】

疲労亀裂の発生及び進展を説明するための図である。

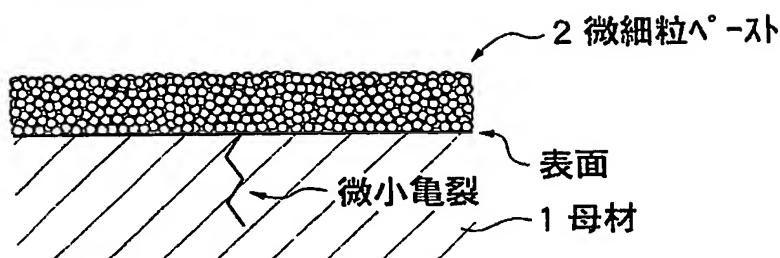
【符号の説明】

- 1 母材
- 2 微細粒ペースト
- 3 母材粉が混然となった微細粒ペースト

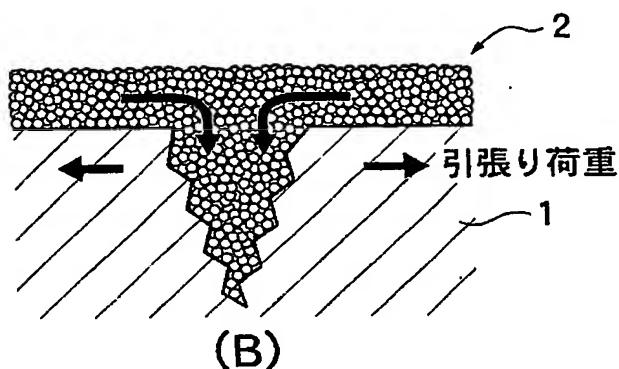
【書類名】

図面

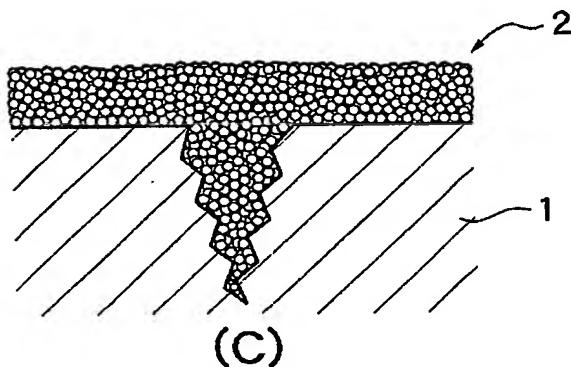
【図1】



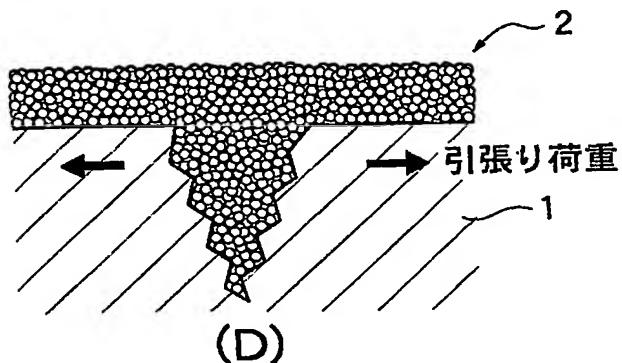
(A)



(B)

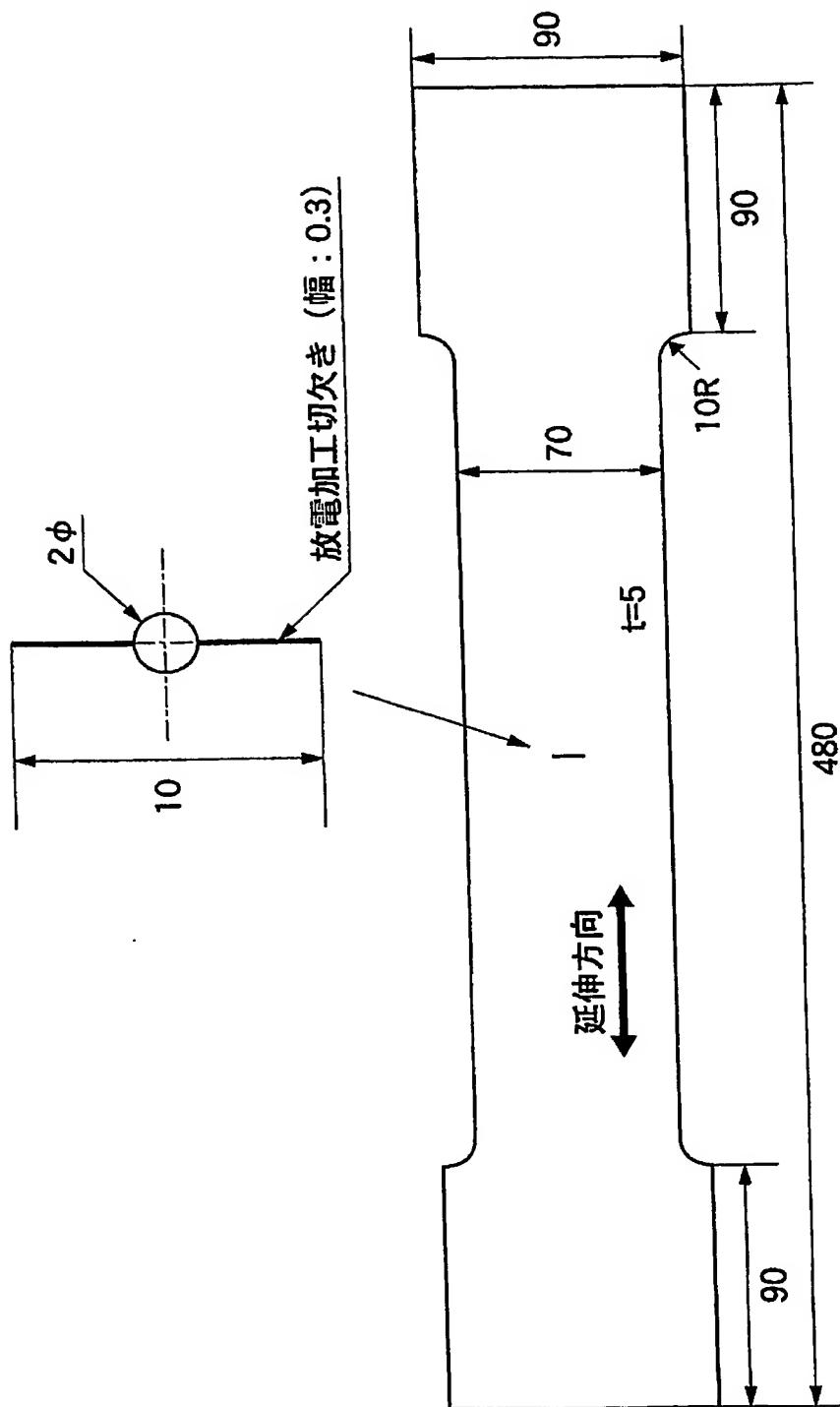


(C)

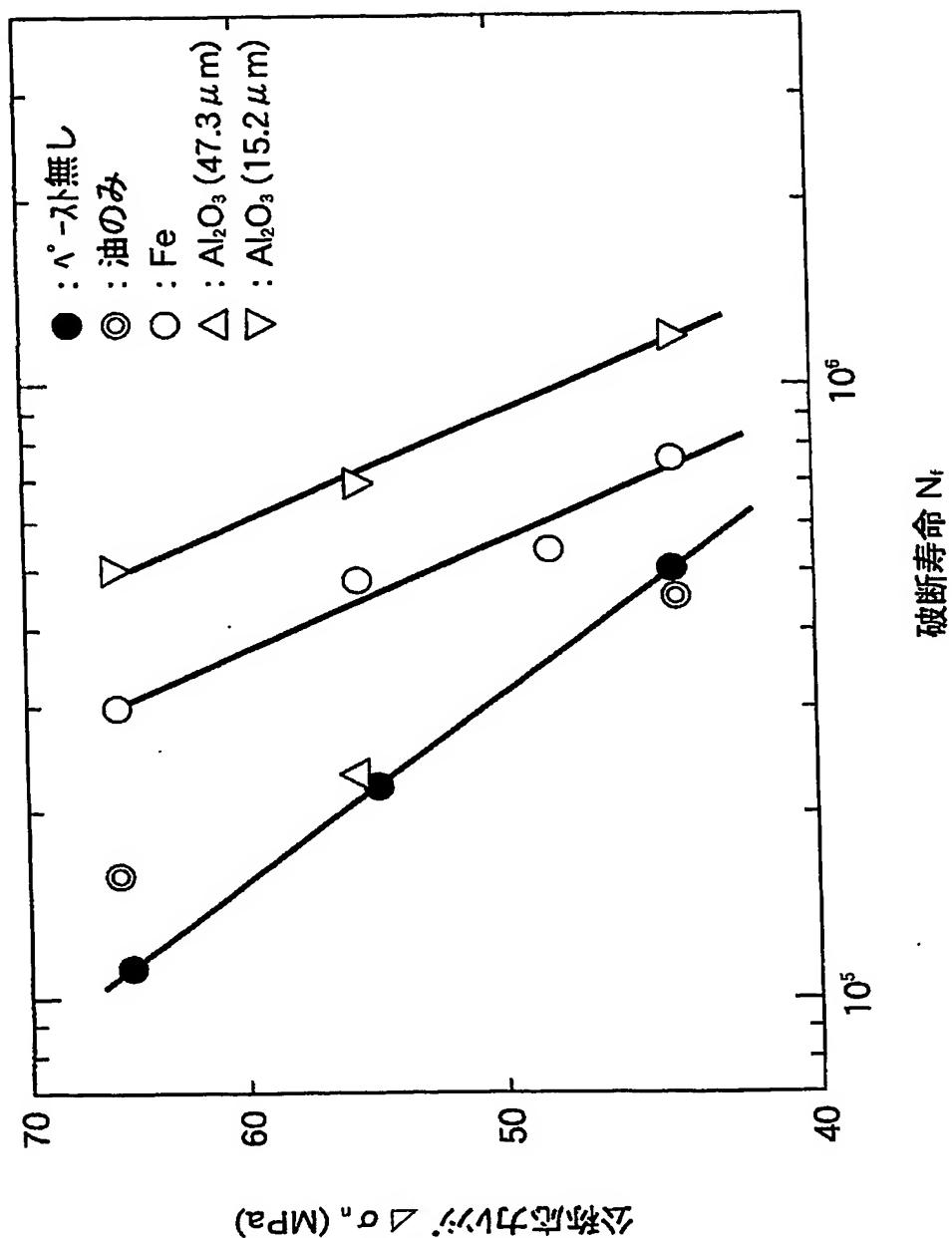


(D)

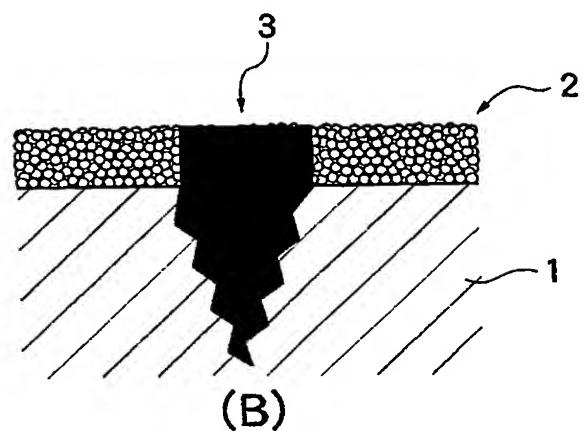
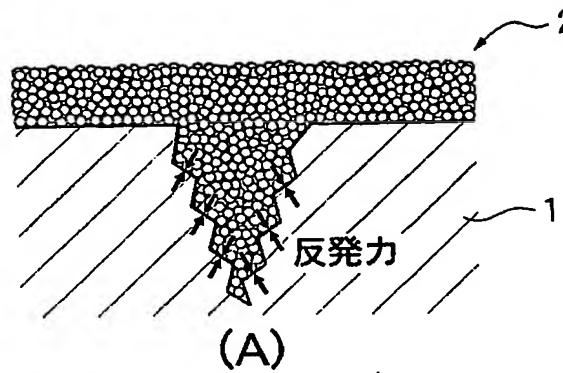
【图2】



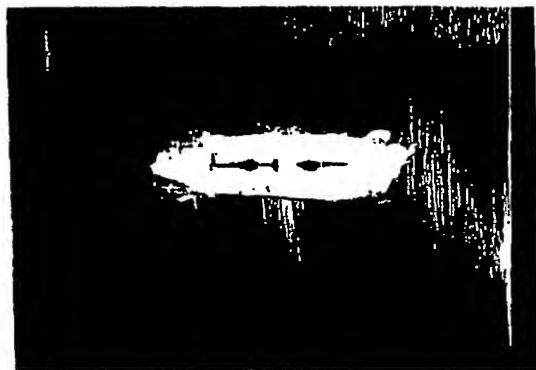
【図3】



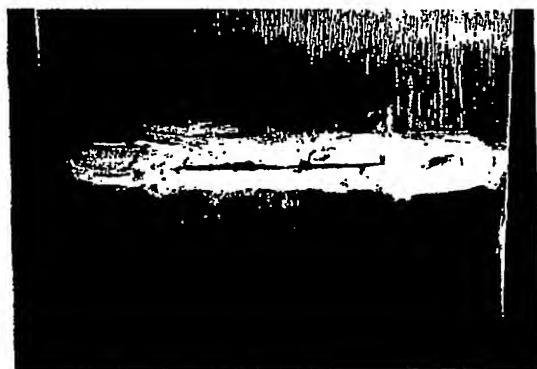
【図 4】



【図5】



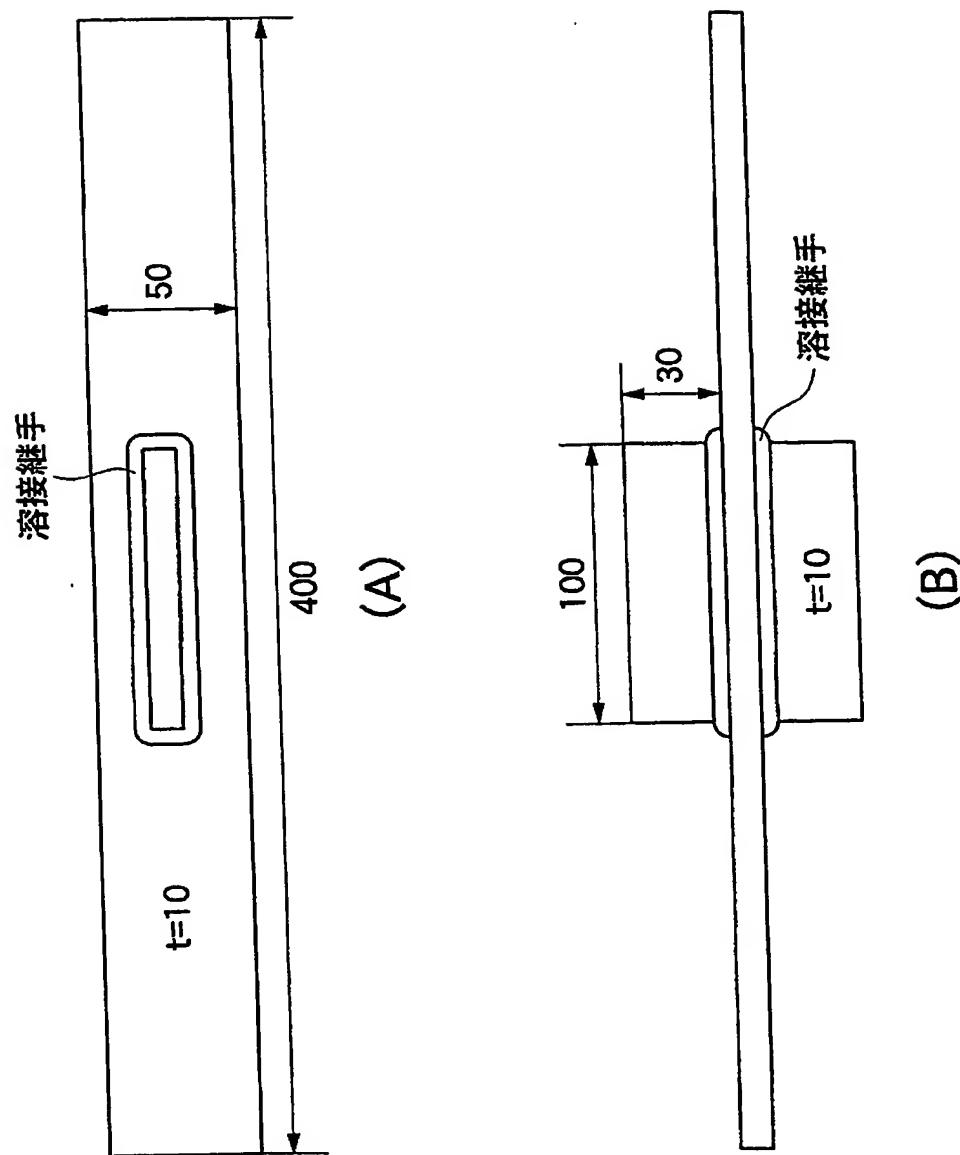
(A)



(B)

Rest Available Copy

【図 6】



【図7】



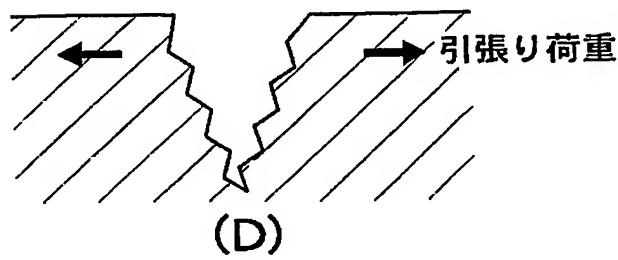
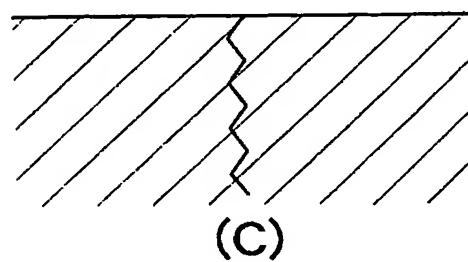
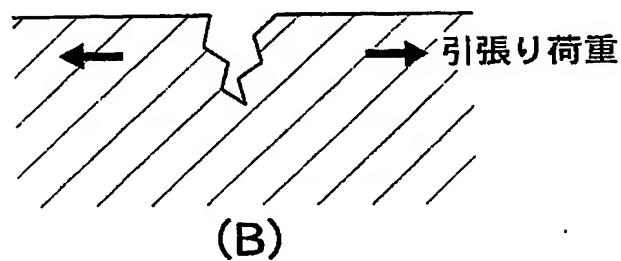
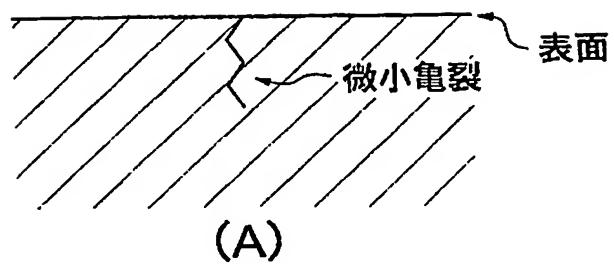
(A)



(B)

Post Available Copy

【図8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 比較的初期の段階においても目視により容易に疲労亀裂を検出する  
ことが可能な疲労亀裂の検出方法を提供する。

【解決手段】 母材 1 の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混  
合されたペースト 2 を準備するステップ (a) と、母材 1 の所望の個所にペース  
ト 2 を塗布するステップ (b) と、母材 1 において疲労亀裂が開閉することによ  
って粒子によって母材が研削されて生じた母材粉が、ペースト 2 の表面に移動し  
て生じた色彩の変化に基づいて、疲労亀裂を検出するステップ (c) とを具備す  
る。

【選択図】 図 4

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願2003-193051
受付番号	50301127664
書類名	特許願
担当官	小菅 博 2143
作成日	平成15年 8月14日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

【提出日】 平成15年 7月 7日

特願 2003-193051

出願人履歴情報

識別番号 [501204525]

1. 変更年月日 2001年 5月23日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都三鷹市新川6丁目38番1号  
氏 名 独立行政法人 海上技術安全研究所

特願 2003-193051

出願人履歴情報

識別番号

[503244228]

1. 変更年月日 2003年 7月 7日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都三鷹市新川6-38-1 海上技術安全研究所内  
氏 名 高橋 一比古